DIE
RESTAKTIVITÄT EINIGER HEILQUELLEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

BRUNO HESIUS
AUS SALZWEDEL.

HALLE a. S.
HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & CO.
1910.

Referent: Geh. Regierungsrat Prof. Dr. **E. Dorn.**

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Dezember 1909.

Meiner lieben Mutter

und dem Andenken meines Vaters!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548112_0002

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung. Gegenstand der Untersuchung 7
Die Apparate 8
Der Gang der Untersuchung 11
Die Verwertung der Beobachtungen 12
Die Ergebnisse der Untersuchungen 17
Schlusswort 29

Einleitung.

Nach den Beobachtungen von Elster und Geitel[1]) befinden sich in manchen Erdarten, vornehmlich in natürlichen Tonlagern, radioaktive Substanzen, welche die Fähigkeit haben, Emanation zu entwickeln, die dann von der Luft und dem Wasser aufgenommen wird. Aus dem Letzteren kann sie durch Kochen oder durch Durchperlen der Luft entfernt, gesammelt und an der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit, die sie der Luft erteilt, gemessen werden. So wurde durch zahlreiche Untersuchungen in vielen frisch geschöpften Quellwässern ein radioaktives Gas nachgewiesen, das mit Radiumemanation identisch ist. Zuerst bemerkten J. J. Thomson[2]) und Himstedt[3]) eine radioaktive Emanation in dem Wasser der Leitungen von Cambridge bezw. Freiburg i. Br. Himstedt[4]) stellte auch ein radioaktives Gas in den Thermalquellen von Baden-Baden fest. Curie und Laborde[5]) fanden unter 19 untersuchten Quellen 14 aktiv. In sehr vielen anderen Quellen wurde weiterhin die Gegenwart eines radioaktiven Gases von Boltwood,[6]) Elster und Geitel,[7]) Dorn,[8]) Mache,[9]) Blanc,[10]) Schenk,[11]) Reichau,[12]) Wieprecht[13]) u. a. beobachtet.

1) Phys. Z. 5 p. 321, 1904.
2) Phil. Mag., 1902. Vol. IV Ser. VI p. 352.
3) Ber. d. Naturf. Ges. zu Freiburg i. Br., 1903 p. 101 u. 181.
4) Annalen d. Phys. 13 p. 573, 1904.
5) C. R. 138, 1904 p. 1150.
6) Americ. Journ. of Sc., 1904. Ser. IV Vol. XVIII p. 378.
7) Phys. Z. 5, 1904 p. 321.
8) Abh. d. Naturf. Ges. zu Halle 25 p. 107, 1904.
9) Wiener Berichte 113, 1904 p. 1329 u. 114, 1905 p. 355.
10) Phil. Mag., 1905, Vol. IX, Ser. VI p. 148.
11) Dissert. Halle, 1904.
12) Dissert. Halle, 1908.
13) Dissert. Halle, 1909.

Auf Veranlassung und mit gütiger Unterstützung von Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Dorn unternahm ich es nun, einige Quellwässer, die wegen ihrer Heilkraft bekannt sind, auf Restaktivität zu untersuchen, d. h. zu prüfen, ob die natürlichen Wässer, die jahrelang nach der Entnahme aus der Quelle in Flaschen liegend aufbewahrt worden sind, noch radioaktive Eigenschaften zeigen.

Alle von mir zur Untersuchung benutzten Proben sind kurz nach dem Schöpfen von Herrn Geheimrat Dorn für radioaktiv befunden.

Da nach Himstedt[1]) in Wasser absorbierte, in geschlossenen Gefässen aufbewahrte Emanation nach demselben Gesetz abklingt, wie die in einem Gas enthaltene Emanation, so wird durch vorliegende Versuche die Frage entschieden, ob die von Herrn Geheimrat Dorn in den Quellwässern gefundene Emanation von dem Wasser beim Durchfliessen radioaktiver Erdschichten nur okkludiert war, oder ob sie von einer in Lösung gegangenen radioaktiven Substanz herrührt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Herrn Geheimrat Dorn, die mir in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt wurden, werden bei den einzelnen Mineralwässern zum Vergleich mitgeteilt.

Die Apparate.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein Quadrantelektrometer der Mascartschen Form mit ausgezeichneter Bernsteinisolierung benutzt. Die Nadel war mit dem positiven Pol einer Batterie von 100 Latimer Clark-Elementen verbunden, der negative Pol war geerdet. Die 100 Normalelemente stellte ich nach den Angaben der physikalisch-technischen Reichsanstalt her. Das Quadrantenpaar c, d (s. Fig.) war mit der Hülle des Elektrometers geerdet; von dem Quadrantenpaar a, b führte ein Draht, der

1) Phys. Z. p. 511, 1904.

zum Schutz gegen äussere elektrische Einflüsse in ein geerdetes Messingrohr von 1 cm Durchmesser mit Paraffin eingeschmolzen war, zu einem Messingstab A, der sich in der Mitte des Messzylinders B befand. Zur Isolierung des axialen Stabes A gegen den äusseren Mantel des Zylinders bestand der Deckel des Zylinders aus folgenden konzentrischen Teilen: ein Ring aus starkem Messingblech, ein Ring aus Ebonit, ein zweiter Ring aus Messing, ein zweiter Ring aus Ebonit, ein Bernsteinstopfen, den der Stab A durchsetzte. Die Isolation war vorzüglich. Der äussere Ring des Deckels wurde nach Zwischenlegen eines dicken, weichen Gummiringes auf einen oben am Zylinder angelöteten Ring mit Schraubenzwingen aufgepresst. Der Zylinder war mit einem oberen und einen unteren Hahnenstutzen versehen. Der obere Hahnenstutzen war an die Saugseite einer Prytzpumpe angeschlossen; die Pumpe wurde durch einen Motor getrieben. Die Druckseite der Prytzpumpe war mit einem Glasrohr verbunden, das den doppelt durchbohrten Gummistopfen der das Quellwasser enthaltenden Flasche durchsetzt und fast bis zum Boden der Flasche reicht. Zur gleichmässigen Verteilung der Luftblasen im Wasser diente ein seitlicher Fortsatz mit vielen kleinen Löchern, er war mittels eines kurzen Gummischlauches am Ende des Glasrohrs befestigt. Durch die zweite Bohrung des Stopfens führte ein kurzes Glasrohr in den nicht vom Quellwasser erfüllten Flaschenhals. Dieses Glasrohr war mit einer Röhre mit Chlorcalcium, diese mit einer anderen mit Watte mittels Gummischlauches verbunden. Chlorcalcium wie Watterohr wurden zu jedem Versuch neu hergestellt. Um das Chlorcalcium vor dem während des Durchlüftens etwa hochspritzenden Wasser zu schützen, hatte das kurze Glasrohr in der Mitte eine kugelförmige Erweiterung, in welche die obere Fortsetzung des Glasrohrs ein wenig hineinragte und gegen die untere Öffnung der kugelförmigen Erweiterung zur Seite gebogen war. Das Watterohr war an den unteren Hahnenstutzen des Messzylinders angeschlossen.

So war es möglich, ein und dieselbe Luftmenge durch das Wasser, durch die Trockenvorrichtung und durch den Zylinder wiederholt hindurchzupressen, bis das Gleichgewicht zwischen der Emanation im Wasser und in der Luft erreicht war.

Zur Messung der Wirkung der Emanation wurde der Messzylinder auf Paraffinplatten gestellt und mittels einer Batterie von kleinen Akkumulatoren von Klingelfuss auf + 320 Volt geladen, der negative Pol der Akkumulatorenbatterie wurde geerdet. Ableitung des zweiten Messingringes des Zylinderdeckels zur Erde verhinderte einen Elektrizitätsübergang vom Zylinder B zum Messingstab A. Mit Hilfe einer Seidenschnur konnte ich vom Fernrohr aus eine Erdung des freien Quadrantenpaares a, b aufheben und die zunehmende Ladung desselben verfolgen. Abgelesen wurde mit Fernrohr und Skala, die sich während aller vorliegenden Versuche in einer Entfernung von 137,5 cm vor dem Spiegel des Elektrometers befand. Die Zeitmessung geschah mit Taschenuhr und lautschlagendem Sekundenpendel.

Die Dimensionen und Konstanten der benutzten Apparate sind folgende:

Die Höhe des Messzylinders betrug 30,0 cm, der Durchmesser 10,8 cm; sein Rauminhalt beträgt demnach 2748 ccm. Inhalt der Pumpe + Zuleitungen + Trockenvorrichtung + Flaschenhals betrug 410 ccm. Das Gesamtvolumen der abgesperrten Luftmenge betrug also 3158 ccm. Es wurde während der Versuche nicht verändert. Die Kapazität des Elektometers mit Zuleitung und dem Messingstab A wurde mit Hilfe eines Harms'schen[1]) Kondensators bestimmt. Da bei den vorliegenden Versuchen die auf ein hohes Potential geladene Nadel in die Quadranten hineingezogen wird, influenziert sie auf diesen eine steigende Ladung und erhöht somit die Kapazität des Systems der Quadranten und der Nadel im Ruhezustande. Um den zutreffenden Wert der

1) Phys. Z. S. 5 1904 p. 47 u. Ann. d. Ph. 10 1903 p. 816.

Kapazität zu erhalten, liess ich den Harms'schen Kondensator mit dem Elektrometer verbunden, bis der Ausschlag zur Ruhe gekommen war.

Für die Kapazität des Elektrometers + Zuleitung ergab sich 50,73 cm,

für die Kapazität des Elektrometers + Zuleitung + Messingstab A im Messzylinder 58,31 cm.

Der Gang einer Untersuchung.

Die Versuchsanordnung beruht darauf, dass die Emanation mit dem Luftstrom in den Messzylinder gelangt und dort einen Jonisationsstrom erzeugt, dessen Intensität mit dem Quadrantelektrometer gemessen wird. Bei der Untersuchung einer Quellwasserprobe verfuhr ich in folgender Weise:

Nach Justierung des Elektrometers und Umrühren der zur Dämpfung der Nadel dienenden Schwefelsäure $^1/_2$ Stunde vor dem Versuch bestimmte ich die Empfindlichkeit des Elektrometers, d. h. den Ausschlag in Skalenteilen für 1 Volt Potentialdifferenz zwischen den Quadranten mittels eines Latimer Clark-Elementes. Sodann reinigte ich den Messzylinder und den Messingstab sorgfältig mit Schmirgelpapier, um einen etwa vorhandenen aktiven Niederschlag zu beseitigen. Hierauf setzte ich den Deckel in der oben angegebenen Weise auf den Zylinder und prüfte auf Dichtigkeit. Wie von Elster uud Geitel[1]) festgestellt wurde, bewirkt schon die atmosphärische Luft infolge eines geringen Jonengehaltes Entladung elektrisierter Leiter. Ich ermittelte daher unmittelbar vor Beginn des Durchperlens der Luft durch das auf Restaktivität zu untersuchende Wasser die natürliche Luftionisation, indem ich nach Zusammensetzung der Apparate das darin abgeschlossene Luftquantum mittels der Prytzpumpe im Kreisstrom hindurchpresste und die wachsende Ladung des freien Quadrantenpaares beobachtete.

1) Phys. Z. 1900 p. 116.

Um das Verhalten der abgeschlossenen Luft während mehrerer Tage kennen zu lernen, beobachtete ich vor dem 1. Hauptversuch drei Tage. Der Ausschlag der Nadel pro 10 Minuten nahm wenig zu. Nach Ermittlung der natürlichen Zerstreuung schaltete ich nun die Flasche mit dem zu untersuchenden Quellwasser in den in sich geschlossenen Apparat ein, bestimmte die Ruhelage der Elektrometernadel und setzte die Pumpe durch den Motor in Tätigkeit: ein und dieselbe Luftmenge wurde nun wiederholt durch das Mineralwasser, durch die Trockenvorrichtung und durch den Messzylinder gedrückt. Gleichzeitig mit dem Beginn der Durchlüftung löste ich die Erdung des Quadrantenpaares a, b und beobachtete die Wanderung der Elektrometernadel, indem ich von Minute zu Minute ablas. Nach Erreichung eines konstanten Ausschlages pro Minute brach ich die Durchlüftung ab, beobachtete aber die Einstellungen der Nadel noch 10 Minuten weiter, um Thoremanation mit einer Halbwertsperiode von 54 Sekunden feststellen zu können. Dann schloss ich die Hähne des Messzylinders und beobachtete das Abklingen der darin abgeschlossenen Emanation in gewissen Zeiträumen während mehrerer Tage.

Die Verwertung der Beobachtungen.

Von den radioaktiven Substanzen entwickeln Aktinium, Thorium und Radium ein radioaktives Gas, die Emanation. Bei den vorliegenden Untersuchungen kommen nur Thor- und Radiumemanation in Betracht, da die Aktiniumemanation mit einer Halbierungskonstante von 3,9 Sekunden nicht in den Messraum gelangt. Die Radiumemanation fällt in ungefähr 3,8 Tagen auf den halben Wert ihrer anfänglichen Aktivität und erzeugt in dieser Zeit einen aktiven Niederschlag von grosser Umwandlungsgeschwindigkeit: Radium A, Radium B und Radium C, und einen von geringer Umwandlungsgeschwindigkeit: Radium D, Radium E und Radium F. Letzterer übt im Messraum keine Wirkung während des Versuches aus. Denn Radium D ist strahlenlos und wandelt sich zur Hälfte in 37 Jahren um. Von

dem Radium A zerfällt die Hälfte in 3 Minuten in Radium B, welches sich in 26,7 Minuten zur Hälfte in Radium C mit einer Halbwertsperiode von 19,5 Minuten umwandelt.

Gelangt die Radiumemanation in den Messzylinder, so beobachtet man zunächst ein Ansteigen der Stromintensität, da die Gefässwände eine mitgeteilte Aktivität annehmen, die von Radium A, B und C herrühren. Nach ungefähr 3 Stunden ist ein Maximum der Stromstärke erreicht und von da an beginnt das Abklingen der Wirkung der Radiumemanation nach dem Exponentialgesetz:

$$J_t = J_0 \, e^{-\lambda t}$$

J_t ist die Intensität nach der Zeit t, J_0 die Anfangsintensität der Aktivität; e ist die Basis des natürlichen Logarithmensystems, λ die charakteristische Abklingungskonstante der Radiumemanation. Zum einwandfreien Nachweis von Radiumemanation beobachtete ich jedesmal mehrere Tage. Die Abklingungskonstante λ ermittelt man aus zwei oder mehreren Beobachtungen J_{t_1} und J_{t_2} zu verschiedenen Zeiten t_1 und t_2 aus der Gleichung:

$$\frac{J_{t_2}}{J_{t_1}} = e^{-\lambda (t_2 - t_1)}$$

$$\lambda = [\text{log. nat. } J_{t_1} - \text{log. nat. } J_{t_2}] \, [t_2 - t_1]^{-1}$$

Es geben für reine Radiumemanation an:

Beobachter	λ (Tag $^{-1}$)	Halbwertsperiode
Curie[1])	0,1738	3,99 Tage
Rutherford u. Soddy[2])	0,1867	3,71 „

Da nun bei den vorliegenden Versuchen λ aus einer Reihe von Beobachtungen von J_t gesetzmässig abgeleitet werden muss, so werden alle Beobachtungen am zweckmässigsten

1) C. R. 135. p. 857. 1902.
2) Phil. Mag. April 1903.

verwandt, wenn man zur Berechnung von λ die Methode der kleinsten Quadrate anwendet.

$$J_t = J_o \cdot e^{-\lambda t}$$
$$\log.\ nat.\ J_t = \log.\ nat.\ J_o - \lambda \cdot t$$

Betrachte ich nun in dieser Gleichung

$$x = \log.\ nat.\ J_o$$
$$y = \lambda$$

als Unbekannte, so kann ich ihre wahrscheinlichsten Werte nach der Methode der kleinsten Quadrante durch die bekannten Grössen t und $u = \log\ nat\ J_t$ aus dem System von n Gleichungen der Form

$$u = x - y \cdot t$$

berechnen. Liegen n Beobachtungen vor, so ergeben sich als Bestimmungsgleichungen für λ und log. nat. J_o folgende Gleichungen:

$$\lambda = \frac{n \Sigma (t \log.\ nat.\ J_t) - \Sigma (t) \Sigma (\log.\ nat.\ J_t)}{[\Sigma (t)]^2 - n \Sigma (t^2)}$$

$$\log.\ nat.\ J_o = \frac{\Sigma (t) \Sigma (t \log.\ nat.\ J_t) - \Sigma (t^2) \Sigma (\log.\ nat.\ J_t)}{[\Sigma (t)]^2 - n \Sigma (t^2)}$$

In der Berechnung des Emanationsgehaltes der Quellen schloss ich mich bei den vorliegenden Versuchen an Mache[1]) an.

Ist C der Inhalt des Messzylinders in Litern und ε der geringe im Liter Luft des Arbeitsraumes enthaltene Emanationsbetrag, so ist $C \cdot \varepsilon$ der als natürliche Zerstreuung gemessene Wert.

Sei ferner:

V: Das ganze für den Versuch abgegrenzte Luftquantum in Litern,

w: das zur Untersuchung benutzte Wasserquantum in Litern,

1) Wiener Ber. 114 II a. 1905 p. 357 .

E: der zu suchende Emanationsgehalt im Liter Quellwasser.

Es beträgt dann die ganze in der Versuchsanordnung vorhandene Emanationsmenge:

$$V\varepsilon + w \cdot E$$

Ist nun nach dem Durchlüften der Wasserprobe das Gleichgewicht zwischen der Emanation im Wasser und in der Luft erreicht und bedeutet e die jetzt in einem Liter Luft enthaltene Emanationsmenge, so gilt auch:

$$V\varepsilon + wE = Ve + we\alpha$$

worin α der Verteilungskoeffizient der Emanation für Wasser ist:

$$\alpha = \frac{\text{Dichte der Emanation im Wasser}}{\text{Dichte der Emanation in Luft.}}$$

Nach v. Traubenberg[1]) ist für Zimmertemperatur α ungefähr $= \frac{1}{3}$. Also

$$V\varepsilon + wE = Ve + \frac{1}{3}we$$

$$E = \frac{V(e - \varepsilon) + \frac{1}{3}we}{w}$$

C, V und w sind bekannt; $C \cdot \varepsilon$ und $C \cdot e$ werden bei jedem Versuch gemessen. Die in dem Quellwasser enthaltene Emanationsmenge verteilt sich bei der beschriebenen Versuchsanordnung während des Durchlüftens auf die w Liter Wasser und auf das von dem Flaschenhals, den Trockenrohren, Verbindungsschläuchen und von dem Messzylinder eingeschlossene Luftquantum. Zur Geltung kommt aber nur die im Messzylinder befindliche Emanation gleich $C \cdot e$. Diese bewirkt am Quadrantelektrometer eine Nadelablenkung von s Skalenteilen in τ Minuten. Ist nun K die

1) Phys. Z. 5 p. 130 1904.

Kapazität des Elektrometers und der angeschlossenen Apparate und F die Elektrometerempfindlichkeit, d. h. der Ausschlag in Skalenteilen für 1 Volt Potentialdifferenz zwischen den Quadranten, so ist die Stromstärke i, die C·e unterhält, gleich dem Produkt aus der Kapazität des Systems und dem Potentialzuwachs pro Sekunde. Also

$$i = \frac{K \cdot s}{300 \cdot 60 \cdot \tau \cdot F} \text{ elektrostatische Einh.}$$

Demnach ist die in einem Liter Luft nach dem Durchlüften enthaltene Emanationsmenge, gemessen durch die Stromintensität in elektrostatischen Einheiten, gleich

$$e = \frac{i}{C}.$$

In derselben Weise berechnet sich nun die Stromstärke i′ für C·ε, die natürliche Zerstreuung. Sie bewirkt eine Nadelablenkung von s′ Skalenteilen in τ Minuten. Also

$$i' = \frac{K \cdot s'}{300 \cdot 60 \cdot \tau \cdot F} \text{ elektrost. Einh.}$$

$$\varepsilon = \frac{i'}{C} \text{ elektrost. Einh.}$$

Die so gefundenen Werte von e und ε werden in die Gleichung für den Emanationsgehalt E in einem Liter Quellwasser eingesetzt. Mithin

$$E = \frac{V(i - i') + \frac{1}{3} w i}{C w}$$

Für i und i′ setze ich nun die oben gefundenen Grössen:

$$E = \frac{K V (s - s') + K \frac{1}{3} w s}{300 \cdot 60 \cdot \tau \cdot F \cdot C \cdot w}$$

$$E = \frac{K}{300 \cdot 60 \cdot \tau \cdot F \cdot C \cdot w} \left[V(s - s') + \frac{1}{3} w s \right]$$

elektrostatische Einheiten.

Um auf Mache-Einheiten zu kommen, muss ich noch mit dem Faktor 1000 multiplizieren. So ist die in einem Liter Quellwasser enthaltene Emanationsmenge gemessen durch den Sättigungsstrom in elektrostatischen Einheiten, den sie zu unterhalten vermag. Also in einem allgemein vergleichbaren Mass unabhängig vom benutzten Apparat. Leider sind bei den meisten bisherigen Untersuchungen die zahlenmässigen Angaben über den Emanationsgehalt natürlicher Gewässer in willkürlichen Einheiten mitgeteilt worden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen.

Um mich mit der Methode vertraut zu machen, untersuchte ich frisch geschöpfte Soole vom Fürstental in Halle und das Leitungswasser von Halle. Für die Abklingungskonstante λ der in dem Fürstentaler Wasser enthaltenen Emanation fand ich

$$0{,}008928 \text{ Stunden}^{-1}$$

Die in einem Liter enthaltene Emanationsmenge vermag im Moment des Schöpfens einen Sättigungsstrom von $3{,}62 \times 10^{-3}$ elektrost. Einheiten gleich 3,62 Macheeinheiten zu unterhalten. Für die in einem Liter Leitungswasser (filtriertes Flusswasser) enthaltene Emanationsmenge ergab sich $J \times 10^3 = 0{,}0348$ Macheeinheiten.

Gasteiner Wasser.

Lainer oder Chirurgenquelle.

Die Füllung der untersuchten Flaschen erfolgte am 18. April 1904. Die Flaschen enthielten 890 ccm Wasser.

Beobachtungszeit	Einstellung der Nadel	Ablenkung in Skt. pro Minute
Ruhelage 11 h 55	494,1	2,6
56	496,7	2,8
57	499,5	3,0
58	502,5	2,9
59	505,4	3,1

Beobachtungszeit	Einstellung der Nadel	Ablenkung in Skt. pro Minute
12 h 0	508,5	
1	511,7	3,2 Schluss der Durch-
2	514,8	3,1 lüftung.
3	517,6	2,8
4	520,5	2,9
5	523,5	3,0

Die Ablenkung durch die natürliche Zerstreuung betrug 9,9 Skalenteile nach 5 Minuten.

Wie die Beobachtungen zeigen, war nach der Durchlüftung die Ablenkung der Nadel in einer Minute gleich der während derselben. Hieraus kann man schliessen, dass die gefundene Aktivität nicht von einer Thoremanation herrührt. In allen von mir untersuchten Quellen war Thoremanation nicht vorhanden.

Die Empfindlichkeit[1]) des Elektrometers genügte, um das Abklingen der geringen Aktivität genau zu beobachten.

Beobachtungszeit	t in Stunden	J_t beob. n. Abzug d. natürl. Zerstr. Skt. in 5 Min.	J_t berechnet Skt. i. 5 Min.	beob. — ber.
23. III. 12 h 05	0	5,1	6,12	— 1,02
3 h 31	3,43	6,0	—	
5 h 0	4,90	5,9	5,86	+ 0,04
24. III. 2 h 0	25,91	5,0	4,85	+ 0,15
11 h 0	46,91	3,9	4,02	— 0,12
5 h 0	52,91	3,8	3,81	— 0,01
26. III. 5 h 0	76,91	3,1	3,07	+ 0,03
27. III. 11 h 0	94,91	2,6	2,62	— 0,02

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass die Aktivität in den ersten drei Stunden zunahm und dann abfiel, was dem Verhalten der Radiumemanation entspricht.

Aus den letzten 6 Beobachtungen berechnete ich die Radioaktivitätskonstante λ nach der Methode der kleinsten

1) 1 Volt = 105,0 Skalenteile.

Quadrate und fand $\lambda = 0{,}00897$ Stunden $^{-1}$. Für J_0 ergaben sich 6,12 Skalenteile in 5 Minuten. Die berechneten Werte in der Tabelle sind nach der Formel

$$J_t = J_0 \, e^{-\lambda t}$$

gefunden ($J_0 = 6{,}12$; $\lambda = 0{,}00897$).

Fünf Jahre nach dem Moment des Schöpfens bewirkt die Emanationsmenge in einem Liter Wasser der Chirurgenquelle eine Stromintensität $J = 0{,}0000520$ elektrost. Einh. $J \times 10^3 = 0{,}0520$ Macheeinheiten. Dieser Wert wurde nach der oben entwickelten Gleichung für E berechnet.

Herr Geheimrat Dorn[1]) gibt für die Wirkung dieses Quellwassers im Moment des Schöpfens 532,1 Skalenteile in einer Minute an. Die Dimensionen und Konstanten der Apparate, die Herr Geheimrat bei seinen früheren Untersuchungen benutzte, sind folgende:

Empfindlichkeit des Elektrometers:

1 Volt = 32,3 Skalenteile.

Die Kapazität des Systems betrug beim Gasteiner Wasser 42,93 cm, bei den anderen Quellwasserproben 57,25 cm. Inhalt des Messzylinders 3060 ccm, die gesamte abgesperrte Luftmenge betrug 3517 ccm, die benutzte Wassermenge 930 ccm. Nach diesen Angaben berechnet sich für den Moment der Entnahme aus der Quelle

$J \times 10^3 = 52{,}93$ Mache-Einh.

Mache[2]) fand für $J \times 10^3 = 54{,}5$ Einheiten.

Ein Vergleich der für den Emanationsgehalt in einem Liter Wasser gefundenen Werte zeigt, dass die radioaktive Wirkung der Chirurgenquelle zur Zeit des Schöpfens zum grössten Teile von einer in der Tiefe aufgenommenen Emanation herrührt.

Die Untersuchung von drei anderen Flaschen mit Wasser der Chirurgenquelle ergaben folgende Resultate:

---

1) Abh. d. Naturf. Ges. Halle p. 109, 1904.
2) Wiener Ber. Abt. IIa 113, 1904, p. 1337.

Flasche 1:

Beobachtungszeit	Ablenkug in Skalenteilen pro 5 Min.	Abl. n. Abzug d.natürl.Zerst. Skt. pro 5 Min.	Empfindlichk. d. Elektromet. Skt./Volt
2. IV. 11 h 10	12,1	5,3	105,3
2 h 0	13,2	6,4	
3. IV. 11 h 0	12,3	5,5	
Flasche 2:			
29. IV. 2 h 30	12,0	5,2	105,1
5 h 10	13,0	6,2	
30. IV. 10 h 15	12,4	5,6	
Flasche 3:			
4. V. 10 h 0	10,0	4,9	104,9
1 h 30	10,9	5,8	
5 h 20	10,7	5,6	

Die Flaschen enthielten 880 ccm Wasser. Die Angaben in dieser Tabelle bestätigen die durch den ersten Hauptversuch nachgewiesene Restaktivität sowohl im Verhalten wie in der Stärke.

Giftquelle (oberhalb Gastein).

Die Füllung der Flasche geschah am 30. August 1905. Für diesen Zeitpunkt berechnete ich aus den Beobachtungen von Herrn Geheimrat Dorn den Sättigungsstrom J von der Emanationsmenge in einem Liter Wasser.

$$J \times 10^8 = 2{,}98 \text{ Mache-Einheiten.}$$

Die schädliche Wirkung des Wassers kann hiernach nicht durch Radiumemanation bedingt sein.

Durch die Untersuchung am 12. Juli 1909 konnte ich nur ganz geringe Restaktivität feststellen. Es betrug

$$J \times 10^8 = 0{,}00727 \text{ Mache-Einheiten.}$$

Karlsbader Sprudel.

Die Füllung der Flaschen war am 4. Juli 1904 erfolgt; sie enthielten 860 ccm Wasser.

Flasche 1:

Elektometerempfindlichkeit:

1 Volt = 104,9 Skt.

Die natürliche Zerstreuung bewirkte eine Ablenkung von 10,44 Skt. nach 10 Minuten.

Beobachtungszeit	t in Stunden	Ablenkung in Skt. n. 10 Min.	Abl. n. Abzug d. natürl. Zerstr. in Skt. n. 10 Min.
17. VI. 12 h 6	0	60,8	50,36
1 h 58	1,87	82,94	72,50
2 h 41	2,60	85,11	74,67
4 h 05	3,98	84,23	73,79
18. VI. 2 h 0	25,90	75,75	65,31
2 h 34	26,48	75,52	65,08
6 h 39	30,55	70,80	60,36
19. VI. 9 h 47	45,70	64,73	54,29
2 h 0	49,90	64,55	54,11
3 h 42	75,60	52,71	42,27

Die Angaben über die Ablenkung in Skalenteilen pro 10 Minuten in obiger Tabelle sind Mittelwerte: zu jeder angegebenen Beobachtungszeit wurde 20 Minuten beobachtet und zwar von Minute zu Minute abgelesen, und aus diesen Werten das Mittel für die Ablenkung pro 10 Minuten berechnet.

In den ersten drei Stunden erfolgte ein Ansteigen der Aktivität und von da an ein Fallen. Von der fünften Beobachtung an berechnete ich die Abklingungskonstante λ nach der Methode der kleinsten Quadrate und fand

$$\lambda = 0{,}007056 \text{ Stunden}^{-1}$$

Da Herr Geheimrat Dorn bei der Untersuchung kurz nach der Entnahme aus der Quelle ein langsameres Abklingen als bei Radiumemanation gefunden hatte, beobachtete ich noch einmal das Abklingen der Emanation aus einer zweiten Flasche Sprudel.

In der folgenden Tabelle teile ich die Ergebnisse des zweiten Versuches mit.

Elektrometerempfindlichkeit:

1 Volt = 105,1 Skt.

Die natürliche Zerstreuung bewirkte eine Ablenkung von 6,5 Skalenteilen in 10 Minuten.

Beobachtungszeit	t in Stunden	J_t + natürliche Zerstreuung in Skt. pro 10Min.	J_t — nat. Zerstr. in Skt. pro 10 Min. beob.	J_t — nat. Zerstr. in Skt. pro 10 Min. ber.	beob. — berechnet
22. VI. 10 h 43	0	55,6	49,1	78,39	—
11 h 22	0,65	72,43	65,93	—	—
1 h 51	2,97	81,01	74,51	—	—
4 h 17	5,57	79,53	73,03	75,10	— 1,07
23. VI. 3 h 30	28,78	68,97	62,47	62,64	— 0,17
24. VI. 9 h 15	46,53	61,01	54,51	54,55	— 0,04
12 h 10	49,45	60,07	53,57	53,32	+ 0,25
6 h 47	56,07	56,67	50,17	50,64	— 0,47
25. VI. 11 h 52	73,15	50,54	44,04	44,32	— 0,28
2 h 41	75,97	49,90	43,40	43,36	+ 0,04

Nach der letzten Beobachtung öffnete ich die Hähne des Messzylinders und durchlüftete das Wasser zum zweiten Mal, um zu sehen, ob die bei der ersten Durchlüftung fortgeführte Emanation zum Teil wieder ersetzt war. Die Ablenkung der Nadel betrug nach 10 Minuten 64,2 Skalenteile abzüglich der natürlichen Zerstreuung. Von diesen 64,2 Skt. kommen 43,40 Skt. auf die noch im Messraum befindliche Emanation und 21,8 Skt. auf die wieder in 3,17 Tagen ersetzte. In 3,17 Tagen war demnach fast die Hälfte der Emanation wieder regeneriert. Damit ist der von Herrn Geheimrat Dorn gezogene Schluss, dass der Karlsbader Sprudel eine radioaktive Substanz gelöst enthält, bestätigt.

Von der fünften Beobachtung des zweiten Versuchs an berechnete ich nach der Methode der kleinsten Quadrate

$\lambda = 0{,}007794$ Stunden^{-1}

$J_0 = 78{,}39$ Skt. in 10 Minuten.

Mit diesen Werten von λ und J_0 sind die berechneten Werte für J_t in der Tabelle gewonnen.

Beide von mir für die Radioaktivitätskonstande λ gefundenen Werte stimmen fast überein mit dem von Rutherford für reine Radiumemanation angegebenen. Demnach entwickelt die im Karlsbader Sprudel gelöst enthaltene radioaktive Substanz ein aktives Gas, das mit Radiumemanation identisch ist.

Das von Herrn Geheimrat Dorn kurz nach dem Schöpfen beobachtete langsame Abklingen ($\lambda = 0{,}1409$ Tag^{-1} $= 0{,}005871$ Stund. [1]) kann etwa so erklärt werden, dass der Sprudel neben Radiumgehalt in der Tiefe ein aktives Gas aufgenommen hat, das entweder selbst langsamer als Radiumemanation abklingt oder im Messraum einen aktiven Niederschlag von geringer Umwandlungsgeschwindigkeit erzeugt. Höchst wahrscheinlich ist das langsamere Abklingen kurz nach der Entnahme aus der Quelle durch Thorabkömmlinge, etwa durch die aus Radiothor oder Thor X entstehenden Umwandlungsprodukte bedingt. Thor X mit einer Halbwertzeit von 3,7 Tagen würde in 5 Jahren fort sein, nahezu, bis auf $\frac{3}{16}$, auch Radiothor mit einer Halbwertzeit von 2 Jahren.

Ich untersuchte sechs Flaschen mit Sprudelwasser. In der folgenden Tabelle werden die anfänglichen Aktivitäten unmittelbar nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes abzüglich der natürlichen Zerstreuung mitgeteilt. Die

Flasche	Ablenkung in Skt. pro 10 Min. — natürliche Zerstreuung
1	50,36
2	49,10
3	47,50
4	46,20
5	48,00
6	46,20

Flaschen enthielten 860 ccm Wasser; die Elektrometerempfindlichkeit betrug 1 Volt = 104,9 Skt. Den Mittelwert 47,89 benutzte ich zur Berechnung des Emanationsgehaltes im Liter Sprudelwasser. Danach vermag der Emanationsgehalt in einem Liter einen Sättigungsstrom J = 0,000214 elektrostatische Einheiten zu unterhalten.

$$J \times 10^3 = 0{,}214 \text{ Macheeinheiten.}$$

Bei der Untersuchung, 5 Tage nach dem Schöpfen, beobachtete Herr Geheimrat Dorn eine Ablenkung von 35,4 Skalenteilen in 20 Minuten. Mit Berücksichtigung der Dimensionen und der Konstanten der damaligen Apparate ergibt sich fünf Tage nach dem Schöpfen für $J \times 10^3 = 0{,}256$ Macheeinheiten.

Ein Vergleich der für den Emanationsgehalt in einem Liter zeigt, dass der Karlsbader Sprudel, fünf Jahre in der Flasche liegend aufbewahrt, noch fast ebenso stark radioaktiv ist wie zur Zeit des Schöpfens.

Baden-Baden.

Murquelle: Die Entnahme aus der Quelle geschah am 21. Juni 1904.

Ich untersuchte drei Flaschen, sie enthielten je 920 ccm Wasser.

Flasche	Beobachtungszeit	Ablenkung in Skt. nach 10 Min. nach Abzug der natürlichen Zerstreuung
1	18. V. 11 h 53	4,4
	2 h 30	5,2
	19. V. 9 h 0	4,9
2	20. V. 10 h 32	4,4
	1 h 28	5,3
	21. V. 10 h 05	4,8
3	22. V. 11 h 34	4,5
	2 h 52	5,4
	23. V. 9 h 30	5,0

Die Elektrometerempfindlichkeit betrug 1 Volt = 104,2 Skt. Demnach zeigte das Wasser der Murquelle nur geringe Restaktivität:

$$J \times 10^3 = 0{,}0243 \text{ Macheeinheiten.}$$

Die radioaktive Wirkung zur Zeit des Schöpfens war ziemlich stark. Herr Geheimrat Dorn gibt für eine Wassermenge von 930 ccm eine Ablenkung von 109,6 Skt. bezw. 135,9 Skt. nach einer Minute an. Demnach vermag die Emanationsmenge in einem Liter Wasser, frisch geschöpft, einen Sättigungsstrom von 0,0121 elektrostat. Einheiten zu unterhalten

$$J \times 10^3 = 12{,}1 \text{ Macheeinheiten.}$$

Wildbad in Württemberg.

Thermalwasser: 6. Juli 1904 geschöpft. Die Flasche enthielt 695 ccm Wasser.

Die Elektrometerempfindlichkeit betrug 1 Volt = 105,0 Skt.

Die Ablenkung der Nadel für natürliche Zerstreuung und Restaktivität betrug nach 10 Minuten 9,4 Skt. Die natürliche Zerstreuung allein bewirkte eine Ablenkung von 8,3 Skt. in 10 Minuten. Restaktivität = 1,1 Skt. in 10 Minuten.

$$J \times 10^3 = 0{,}0048 \text{ Macheeinheiten.}$$

Aus den Beobachtungen von Herrn Geheimrat Dorn berechnete ich für die Aktivität zur Zeit des Schöpfens:

$$J \times 10^3 = 1{,}55 \text{ Macheeinheiten.}$$

Salzbrunn in Schlesien.

Martaquelle: Die Füllung der Flasche war am 5. April 1905 erfolgt, sie enthielt 635 ccm Wasser.

Elektrometerempfindlichkeit:

1 Volt = 104,7 Skt.

Die natürliche Zerstreuung bewirkte eine Ablenkung von 6,1 Skt. in 10 Minuten.

Beobachtungszeit	Ablenkung in Skt. pro 10 Minuten	Ablenkung nach Abzug der natürlichen Zerstreuung in Skt. pro 10 Minuten
5. VII. 9 h 55	13,0	6,9
1 h 32	16,0	9,9
6 h 03	15,7	9,6
6. VII. 6 h 30	14,1	8,0

Die Restaktivität steigt in den ersten drei Stunden und klingt dann ab. Aus der 3. und 4. Beobachtung berechnete ich die Abklingungskonstante und fand

$$\lambda = 0{,}007457 \text{ Stunden}^{-1}$$

$$J \times 10^3 = 0{,}044 \text{ Macheeinheiten.}$$

Herr Geheimrat Dorn durchlüftete 3 Tage nach der Entnahme aus der Quelle 1,905 Liter und beobachtete eine Ablenkung von 433 Skt. nach 5 Minuten abzüglich der natürlichen Zerstreuung. Auf den Moment der Füllung zurückgerechnet, würde diese Wassermenge eine Ablenkung von 729,3 Skt. in 5 Minuten bewirken. Demnach beträgt zur Zeit der Füllung $J \times 10^3 = 10{,}20$ Macheeinheiten. Diese Wirkung ist, wie ein Vergleich beider für $J \times 10^3$ gefundenen Werte zeigt, zum grössten Teil durch eine Emanation bedingt, welche das Wasser der Martaquelle in der Tiefe aufgenommen haben mag.

Landeck in Schlesien.

Name der Quelle	Restaktivität $J \times 10^3$	Aktivität z. Zeit der Füllung $J \times 10^3$
Marienquelle geschöpft 22. Juni 05	0,00423	19,7
Friedrichsquelle geschöpft 10. März 06	0,0116	34,1
Georgenquelle geschöpft 10. März 06	0,0160	98,6

Die Angaben über die Aktivität zur Zeit der Füllung sind der Dissertation von Reichau, Halle 1908, entnommen.

Warmbrunn in Schlesien.

Das am 27. Mai 1905 geschöpfte Wasser der südlichen Quelle im grossen Bassin und das am 29. Juni 1905 geschöpfte Wasser der „Neuen Quelle" zeigten keine Restaktivität, obwohl es kurz nach dem Schöpfen von Herrn Geheimrat Dorn für radioaktiv befunden wurde. Ich teile noch die aus den Beobachtungen von Herrn Geheimrat Dorn berechneten Werte für den Emanationsgehalt in einem Liter zur Zeit der Füllung mit.

Südliche Quelle im grossen Bassin:

$$J \times 10^3 = 19{,}2 \text{ Macheeinheiten.}$$

Neue Quelle:

$$J \times 10^3 = 3{,}76 \text{ Macheeinheiten,}$$

Wasser aus dem Simplontunnel. (Heisse Quelle.)

Die Füllung geschah am 19. November 1904. Während der Durchlüftung des Wassers war die Ablenkung am Elektrometer gleich der durch die natürliche Zerstreuung in derselben Zeit; also das Wasser besitzt keine Restaktivität. Aus den Beobachtungen von Herrn Geheimrat Dorn berechnete ich den Sättigungsstrom J, den der Emanationsgehalt in einem Liter Wasser zur Zeit des Schöpfens zu unterhalten vermag.

$$J \times 10^3 = 1{,}44 \text{ Macheeinheiten.}$$

Über die natürlichen Gewässer aus dem Simplontunnel hat v. d. Borne[1]) zahlreiche Untersuchungen angestellt. Nach der von ihm aufgestellten Tabelle über die Stärke der Aktivität der einzelnen Quellen im Simplontunnel ist das

1) Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik 1905. II. p. 142.

von Herrn Geheimrat Dorn untersuchte Wasser den grossen Quellen der Südseite aus den Quellenspalten im Atigoriogneiss entnommen.

Schleusingen.

Wasser aus dem Wilhelmsbrunnen, am 10. Mai 1909 geschöpft, am 11. Mai untersucht und entemaniert. Am 20. Juli untersuchte ich es auf Restaktivität. 980 ccm Wasser bewirkten noch eine Ablenkung von 3,3 Skt. in 10 Minuten abzüglich der natürlichen Zerstreuung. Die Elektrometerempfindlichkeit betrug 1 Volt = 104,5 Skt.

Restaktivität: $J \times 10^3 = 0{,}0132$ Macheeinheiten.

Für die Aktivität zur Zeit der Füllung fand ich für

$J \times 10^3 = 1{,}358$ Macheeinheiten.

Halle:

Fürstentaler Soole; geschöpft am 23. Februar 1909, am 25. Februar entemaniert und verstopft gelegt. Am 21. Juli 1909 untersuchte ich die Flasche auf Restaktivität. 820 ccm Wasser bewirkten während der Durchlüftung eine Ablenkung von 4,1 Skt. in 10 Minuten, die natürliche Zerstreuung ist abgezogen. Elektrometerempfindlichkeit: 1 Volt = 104,4 Skt.

Restaktivität: $J \times 10^3 = 0{,}0198$ Macheeinheiten.

Zur Zeit des Schöpfens beträgt

$J \times 10^3 = 3{,}62$ Macheeinheiten.

Die folgende Tabelle gibt einen vergleichenden Überblick über die Restaktivität und die Aktivität der untersuchten Quellen im Moment des Schöpfens. Die Zahlen geben den Sättigungsstrom J in Macheeinheiten an, den der Emanationsgehalt in einem Liter Quellwasser zu unterhalten vermag.

Herkunft des Wassers	Restaktivität $J \times 10^3$	Aktivität im Moment d. Schöpfens $J \times 10^3$
Chirurgenquelle, Gastein . . .	0,0520	52,90
Giftquelle, „	0,00727	2,98
Karlsbader Sprudel	0,2140	0,257
Murquelle, Baden-Baden . . .	0,0243	12,10
Thermalwasser, Wildbad . . .	0,0048	1,55
Martaquelle, Salzbrunn . . .	0,0440	10,2
Marienquelle, Landeck . . .	0,00423	19,7
Friedrichsquelle, „	0,0116	34,1
Georgenquelle, „	0,0160	98,6
Südliche Quelle, Warmbrunn . .	unmerkl.	19,2
Neue Quelle, „ . .	„	3,67
Wasser aus dem Simplontunnel .	„	1,44
Wilhelmsbrunnen, Schleusingen .	0,0132	1.358
Fürstental, Halle a. S.	0,0198	3,620
Leitungswasser, Halle a. S. . . .	unmerkl.	0,0348

Schlusswort.

Nach den vorliegenden Untersuchungen ist die Radioaktivität der untersuchten Quellen mit Ausnahme des Karlsbader Sprudels zur Zeit des Schöpfens zum grössten Teile durch eine in der Tiefe aufgenommene Emanation bedingt. Das Abklingen der radioaktiven Wirkung des Karlsbader Sprudels erfolgte nach den Beobachtungen von Herrn Geheimrat Dorn kurz nach dem Schöpfen langsamer als bei Radiumemanation, was von den aus Radiothor oder Thor X entstehenden Umwandlungsprodukten herrühren kann. Nach fünf Jahren erfolgt das Abklingen mit derselben Geschwindigkeit wie bei Radiumemanation. Der Karlsbader Sprudel enthält demnach Radium gelöst, das die fortwährend im Zerfall befindliche Emanation wieder ersetzt.

Zum Schluss sei es mir auch an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn, für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit sowie für die stete, liebenswürdige Unterstützung und Beratung bei ihrer Ausführung meinen verbindlichsten Dank ergebenst auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Bruno Hesius, evangel. Konfession, am 1. Juli 1884 zu Ziethnitz im Kreise Salzwedel in der Altmark, als Sohn des Königl. Mühlenpächters Gustav Hesius † und dessen Ehefrau Mathilde geb. Kordts. Von Ostern 1890 bis Ostern 1894 besuchte ich die Stadtschule zu Lüchow. Meine weitere Schulbildung genoss ich sodann auf dem Königl. Gymnasium zu Salzwedel. Diese Anstalt verliess ich Ostern 1904 mit dem Zeugnis der Reife, um mich dem Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik zu widmen. Ich studierte in Göttingen, Jena, Berlin und Halle. Am 7. Dezember 1909 bestand ich die mündliche Doktorprüfung.

Während meiner Studienzeit waren meine Lehrer die Herren Professoren und Dozenten:

in Göttingen:

Minkowski, Riecke, Wagner, Wiechert;

in Jena:

Ambronn, Eucken, Gutzmer, Thomae, Winkelmann;

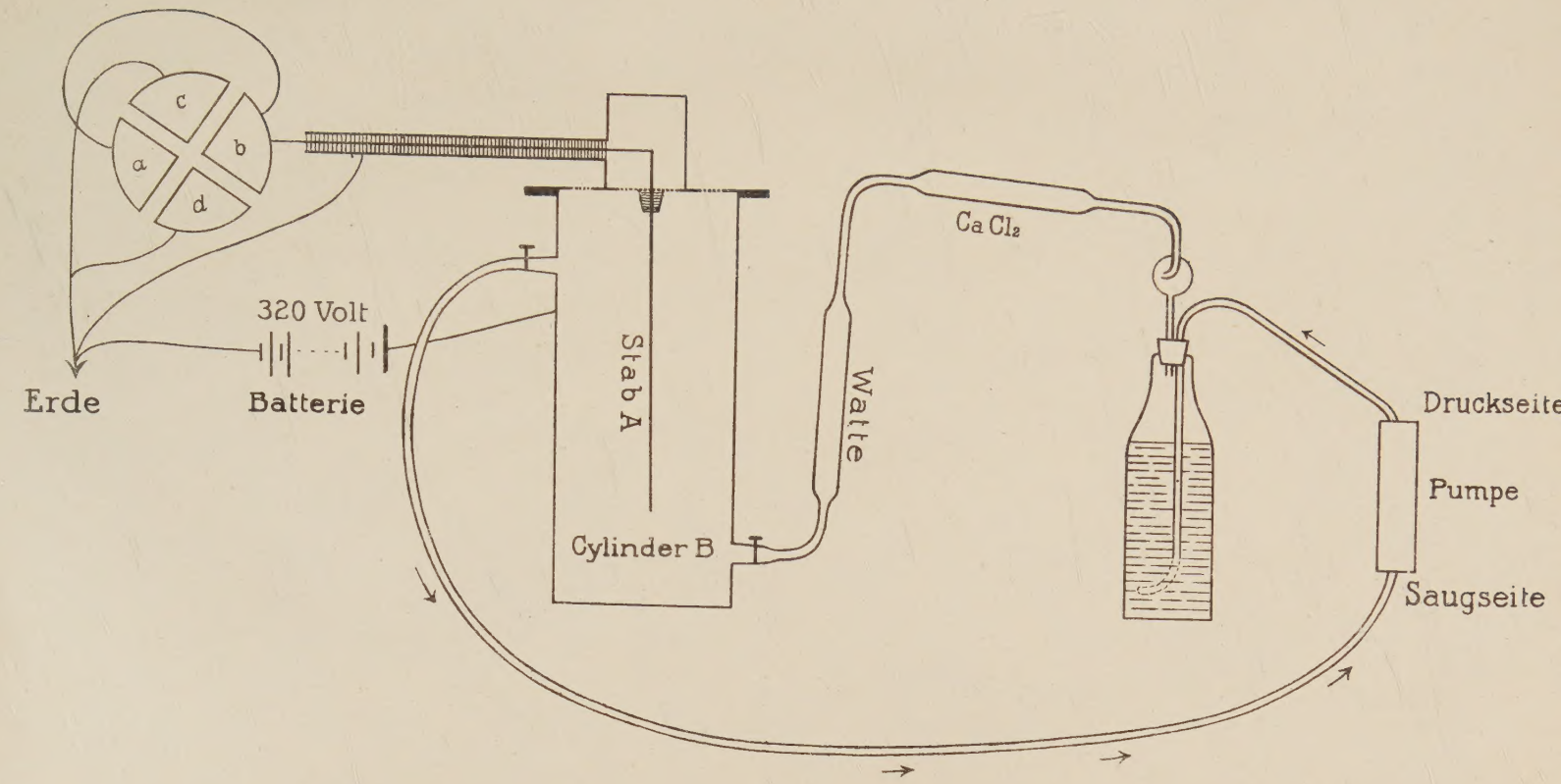
in Berlin:

Döring, Klein, Martens, Pinner, Riehl, Warburg;

in Halle:

Dorn, Ebbinghaus †, Goldschmidt, Menzer, Tubandt, Uphues, Volhard, Vorländer, Wangerin, Wüst.

Allen diesen meinen verehrten Lehrern bin ich zu grossem Danke verpflichtet.


c
b
a
d
320 Volt
Erde
Batterie
Stab A
Cylinder B
Watte
Ca Cl₂
Druckseite
Pumpe
Saugseite